

0-735562

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

БАРЫШЕВ Юрий Викторович



ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛАКТИК  
И ТЕСТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИИ

Специальность 01.03.02 — астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Санкт-Петербург 2003

Работа выполнена в Научно-исследовательском астрономическом институте им. В. В. Соболева Санкт-Петербургского государственного университета Министерства образования Российской Федерации.

Научный консультант: доктор физико-математических наук,  
профессор  
Нагирнер Дмитрий Исидорович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор  
Гнедин Юрий Николаевич

доктор физико-математических наук  
Лукаш Владимир Николаевич

доктор физико-математических наук,  
академик РАН  
Парийский Юрий Николаевич

Ведущая организация: Институт прикладной астрономии  
Российской академии наук, Санкт-Петербург

Защита состоится 09 октября 2003 г. в 14 ч. 00 м. па заседании диссертационного совета Д 212.232.15 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., 28, ауд. 2143 (математико-механический факультет).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГУ.

Автореферат разослан 16 мая 2003 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Орлов В.В.

## 1 Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Современный этап развития космологии характеризуется тем, что вопросы, связанные с проверкой фундаментальной физики, оказываются ключевыми для решения многих проблем космологической физики (Тернер 2002; Пиблс 2002). Открытие абсолютного динамического доминирования экзотических форм материи - вакуумоподобной темной энергии и небарионного холодного темного вещества, привело к такой ситуации в космологии, когда основные космологические параметры моделей определяются субстанцией неизвестной природы, а наблюдаемое вещество в обычных формах (звезды, газ, пыль) составляет лишь малую долю от полной плотности массы. Поскольку наблюдательная проверка стандартной космологической модели находится на значительно более низком уровне, чем экспериментальное обоснование стандартной модели физики элементарных частиц, то естественно потребовать в космологии обилия свидетельств правильности космологической модели. В космологии необходимо проверять не только следствия моделей, но также и саму физику, экстраполируемую на космологические масштабы.

Необходимость физически надежной космологической модели ясна например из того факта, что без выбора определенной космологической модели невозможно вычислить такие основные физические характеристики наблюдаемых внегалактических объектов (галактик, квазаров, скоплений), как их линейные размеры и светимости. Последнее, например, оказывается принципиальным при оценке энергетики гамма-всплесков и определении параметров их родительских галактик, имеющих большие красные смещения (см. Соколов 2002). Интерпретация астрофизических наблюдений оказывается существенно зависимой от выбора конкретной космологической модели. Неизбежно возникают вопросы: какой модели отдать предпочтение и насколько надежны основания выбранной модели?

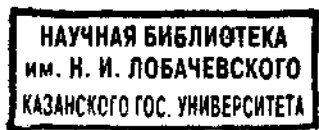
В связи с этим, чрезвычайно актуальной задачей настоящего периода является разработка наблюдательных тестов релятивистской космологии, позволяющих

укрепить физические основы космологических моделей, а значит сделать их экспериментально более обоснованными. Тесты фундаментальной физики должны быть направлены на выяснение природы скрытой массы-энергии, а также природы гравитации, являющихся главными элементами современных космологических моделей.

С момента рождения релятивистской космологии вопрос о наблюдательном тестировании моделей мира находился в центре внимания астрономов и физиков. Для этой цели Хаббл, Толмен и Сэндидж сформулировали программу выбора космологической модели по наблюдениям, где были предложены классические космологические тесты  $N(z)$ ,  $m(z)$ ,  $J(z)$ ,  $\theta(z)$ ,  $\tau(z)$ . Первые результаты этой программы, к сожалению, не привели к выбору определенной модели из-за недостаточности наблюдательных данных, неопределенностей в систематических ошибках и неизученных эволюционных эффектов у галактик.

В последние годы, однако, ситуация меняется коренным образом. Введение в строй крупных оптических телескопов и запуски космических обсерваторий, исследующих весь спектр электромагнитного излучения, а также завершение строительства ряда гравитационно-волновых обсерваторий привели к таким наблюдательным возможностям, на которые 10 лет назад невозможно было рассчитывать.

Настоящим триумфом применения классических космологических тестов явилось построение диаграммы Хаббла  $m(z)$  по далеким сверхновым типа Ia (Райес и др. 1998, Перлмуттер и др. 1999). Анализ этого теста привел к революционному открытию в космологии - а именно, оказалось, что динамика расширения Вселенной в современную эпоху определяется не обычной материей, а загадочной "темной энергией" (вакуум, квинтэссенция), физика которой остается неясной. Наблюдения дают величину для параметра плотности этой составляющей  $\Omega_\chi^0 \approx 0.7$ . Возможные эффекты селекции и эволюции сверхновых типа Ia требуют дальнейшего изучения, однако уже сейчас ясно, что вакуумоподобная материя стала фундаментальной компонентой во Вселенной (Чорпип 2001, Пиблс и Ратра 2002).



Наблюдения анизотропии микроволнового фонового излучения (МФИ) также привели к резкому ограничению на допустимую величину полного параметра плотности  $\Omega_{tot}^0 = 1.02 \pm 0.05$  (де Бернардис и др. 2000). Недавние результаты наблюдений космической обсерватории WMAP подтвердили критическое значение плотности во Вселенной с точностью до 2%. Так как доля светящегося барионного вещества составляет около 0.5%, то это означает, что 99.5% массы Вселенной находится в экзотических формах с неизвестной физикой. Это безусловно стимулирует разработку таких наблюдательных тестов, которые позволили бы прояснить физическую природу скрытой массы, а также укрепить основания космологических моделей, приводящих к такому радикальному выводу о доминировании темной материи во Вселенной.

Особую роль в космологических тестах играет изучение пространственного распределения галактик, так как это прямо связано с наблюдательными тестами космологического принципа и моделей образования крупномасштабной структуры Вселенной. Однако только с конца 80-х годов появились первые массовые обзоры красных смещений галактик, позволившие начать прямое наблюдательное изучение реального пространственного распределения галактик. Неожиданным оказалось открытие неоднородных структур с масштабами, достигающими сотен Мпк, что привело к необходимости распространения фрактального анализа на распределения галактик. Анализ наблюдательных данных совместно с численным моделированием образования крупномасштабной структуры во Вселенной также показал, что для объяснения наблюдаемых структур в рамках стандартной космологической модели необходимо привлекать доминирующую скрытую массу в небарионной форме и космологический вакуум (Лукаш 2000).

Теория гравитации является базисным элементом современных космологических моделей, фактически космологическая модель есть не что иное, как одно из решений уравнений гравитационного поля. Общая теория относительности, сформулированная Эйнштейном в 1915 г. как геометрическая теория гравитации, является фундаментом

релятивистской космологии. Классические тесты общей теории относительности (отклонение лучей света, смещение перигелия Меркурия, гравитационное смещение частоты) послужили важными физическими аргументами в пользу космологических моделей Фридмана. В современной теоретической физике, кроме геометрического описания гравитации, обсуждается также полевой подход, который описывает физику гравитационного взаимодействия как обмен квантами поля в плоском пространстве Минковского. В связи с фундаментальной ролью теории гравитации в космологических моделях, разработка астрофизических наблюдательных тестов природы гравитации является актуальной задачей космологии. В частности, уже вступают в строй гравитационные антенны третьего поколения, с помощью которых можно провести наблюдательную проверку эффектов сильного гравитационного поля. Это позволит укрепить основания теории гравитации, а значит и надежность космологических выводов, полученных на ее основе.

В списке Алана Сэндиджа, содержащего 23 ключевые проблемы астрономии на ближайшие тридцать лет, девять посвящены практической космологии (Сэндидж 1995). Сформулированные Сэндиджем актуальные проблемы космологии связаны с прямой наблюдательной проверкой исходных принципов и основных предсказаний релятивистской космологии. Решение этих проблем требует разработки космологических тестов, учитывающих современный уровень развития наблюдательной техники и физической теории, чему и посвящена настоящая работа.

**Цель и задачи.** Целью данной работы является разработка новых наблюдательных тестов релятивистской космологии, направленных на прямую проверку исходных принципов и фундаментальной физики космологических моделей. В соответствии со структурой современных моделей, такими наблюдательными тестами являются тесты теории гравитации и тесты космологического принципа, на которых основаны космологические выводы об абсолютном преобладании во Вселенной экзотической

вакуумоподобной материи и небарионной скрытой массы с неизвестными носителями.

Поскольку центральным элементом современных космологических моделей является теория гравитации, то необходимо дать анализ современного состояния теории и эксперимента в гравитационной физике. С учетом новых наблюдательных возможностей, появляющихся при использовании космических обсерваторий, принимающих электромагнитное излучение во всем диапазоне волн, а также развитием экспериментов в гравитационной физике и вводом в строй гравитационных антенн третьего поколения, необходимо разработать астрофизические тесты природы гравитационного взаимодействия.

Учитывая новые результаты наблюдений пространственного распределения галактик, а также открытие доминирующей темной энергии, необходимо провести анализ релятивистских моделей, включающих фрактальное распределение галактик и однородное распределение скрытой массы-энергии в форме вакуума, и квинтэссенции.

**Научная новизна.** В работе впервые проведено разделение космологических тестов на параметрические, направленные на оценку внутренних параметров моделей, и критические, направленные на проверку оснований космологических моделей, таких как космологический принцип и теория гравитации.

Впервые полевой подход Фейнмана к физике гравитационного взаимодействия развит до уровня, необходимого для разработки астрофизических тестов природы гравитации.

Впервые предложены астрофизические тесты, различающие геометрическую и полевую теории гравитации, включающие принцип эквивалентности для вращающихся тел (обобщенный эффект Нордтведта) и гравитационное излучение от двойных систем и коллапса массивных звезд (скалярное гравитационное излучение).

Впервые получена оценка фрактальной размерности пространственного распределения галактик без привлечения данных о красных смещениях для выборки

галактик KLUN с известными расстояниями, измеренными методом Талли-Фишера.

Впервые получен абсолютный верхний предел на полную массу фрактально распределенной скрытой материи во Вселенной.

Впервые получены наблюдаемые характеристики локального закона Хаббла по галактикам с расстояниями, измеренными по цефеидам, и дана интерпретация малой дисперсии скоростей в рамках двухкомпонентной модели как результата действия космологической вакуумонодобной материи.

**Научная И практическая ценность.** Научная ценность работы состоит в расширении круга наблюдательных тестов исходных принципов космологических моделей, что необходимо для обоснования надежности космологических выводов о доминировании экзотических форм материи во Вселенной.

Расширенная формулировка космологического принципа и более широкий анализ физики гравитационного взаимодействия позволяет включить в наблюдательную проверку космологические модели более общие, чем фридмановские. В частности, разработаны тесты для фрактально-однородных моделей.

Предложенные тесты релятивистской теории гравитации необходимы для планирования новых гравитационных экспериментов, направленных на получение количественных оценок и верхних пределов возможного отклонения от принципа эквивалентности и на обнаружение новых релятивистских гравитационных эффектов, включая скалярные гравитационные волны.

Предложенные тесты крупномасштабной структуры могут быть использованы при планировании и интерпретации наблюдений распределения галактик в пространстве, их кинематики и динамики, как в локальном объеме ( $<10$  Мпк), так и на хаббловских масштабах (1000 Мпк).



## Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Вывод, сделанный на основе анализа структуры релятивистских космологических моделей, о необходимости разделения наблюдательных космологических тестов на параметрические, направленные на оценку параметров моделей, и критические, такие как тесты космологического принципа, природы скрытой массы-энергии и природы гравитационного взаимодействия, направленные на проверку оснований космологических моделей.

2. Результаты анализа полевого подхода Фейнмана к описанию гравитации и вывод о необходимости разработки дополнительных астрофизических тестов физики гравитационного взаимодействия. Предложение в качестве критических тестов природы гравитации наблюдения обобщенного эффекта Нордтведта и детектирования скалярных гравитационных волн.

3. Результаты анализа пространственного распределения галактик из каталога KLUN на основе расстояний, измеренных методом Талли-Фишера, и вывод о наличии фрактальной структуры без использования красных смещений галактик. Подтверждение величины фрактальной размерности  $D_F \approx 2$  на масштабе до  $200 h_{60}^{-1}$  Мпк. Вывод о наличии абсолютного верхнего предела для полной массы фрактально распределенной скрытой материи во Вселенной.

4. Вывод о малой наблюдаемой величине отклонения от линейности локального закона Хаббла и малой дисперсии скоростей ( $<40$  км/с) для галактик местного объема с расстояниями, измеренными по цефеидам.

5. Результаты применения к местному объему релятивистских моделей, учитывающих фрактальное распределение вещества и однородное распределение темной энергии, и оценку величины основных параметров темной материи и темной энергии, необходимых для объяснения наблюдаемых характеристик локального закона Хаббла.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на ряде всесоюзных, всероссийских и международных конференций: "Релятивистская астрофизика и космология"— САО РАН, 1988; "Проблемы физики высоких энергий и теории поля"- Протвино, 1990, 1994; "Переменность блазаров"- Турку (Финляндия), 1991; "Гравитационные линзы во Вселенной"- Льеж (Бельгия), 1993; "Гравитационно волновой эксперимент"— Фраскати (Италия), 1994; "Актуальные проблемы внегалактической астрономии"— Пушино, 1997, 1998, 2001; Коллоквиум МАС № 174 "Малые группы галактик"— Турку (Финляндия), 1999; Международная мемориальная конференция "Гамов—99"— С.Петербург, 1999; Ассамблея COSPAR — Варшава (Польша), 2000; V Международная конференция по гравитации и астрофизике стран азиатско-тихоокеанского региона — Москва, 2001; Международная конференция "Небесная механика — 2002: результаты и перспективы"— Санкт-Петербург, 2002, а также на следующих семинарах: кафедры астрофизики СПбГУ, сектора теоретической астрофизики Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе, Специальной астрофизической обсерватории РАН, лаборатории им. Фридмана (СПб), физического факультета Римского университета (Италия), Лионской обсерватории (Франция), Обсерватории университета г.Турку (Финляндия), института Лауэ—Ланжевена (Гренобль, Франция), Парижской обсерватории (Франция).

**Структура И объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы (220 наименований) и приложения, содержит 7 рисунков и 5 таблиц. Общий объем диссертации - 210 страниц.

## 2 Содержание работы

**Во Введении** отражены актуальность проблемы, цель исследования, основные положения, выносимые на защиту, отмечена их научная новизна и практическая значимость.

В **Главе 1** дается обоснование и формулировка тех конкретных задач космологии, решению которых посвящены последующие главы диссертации.

В **разделе 1.1** проводится анализ структуры релятивистских космологических моделей и делается вывод о том, что главными элементами космологических моделей являются космологический принцип и релятивистская теория гравитации. Дается формулировка обобщенного космологического принципа, позволяющего включить в рассмотрение модели с фрактальным распределением вещества.

Показано, что как космологический принцип Эйнштейна, так и космологический принцип Мандельброта включают принцип отсутствия выделенного центра. Стохастическая фрактальная структура дает пример дискретного распределения вещества, которое является неоднородным, локально изотропным и не имеет выделенного центра. Таким образом космологический принцип Мандельброта распространяет принцип Коперника на самоподобные неоднородные распределения вещества (история этого вопроса рассмотрена в книге Барышева и Тесрикорми 2002).

Для Вселенной, содержащей две существенно различные компоненты нерелятивистскую и релятивистскую материю, возможно одновременное выполнение принципа однородности для релятивистской компоненты и принципа фрактальности для нерелятивистской массы. Поскольку с увеличением масштаба плотность фрактальной компоненты уменьшается, то всегда существует масштаб, начиная с которого плотность однородной релятивистской материи превосходит плотность обычного вещества, а значит глобально возможно использование однородных космологических моделей.

В **разделе 1.2** рассмотрены многокомпонентные модели Фридмана с

доминированием вакуума или квинтэссенции и на их примере обсуждаются особенности космологической физики расширяющегося пространства. Главной открытой проблемой современных космологических моделей является неопределенность в описании взаимодействия между различными компонентами (Пиблс и Ратра 2002). Возможность обмена энергией между обычной материей, холодным темным веществом и темной энергией допускается уравнениями Эйнштейна, которые требуют только равенства нулю ковариантной производной от полного тензора энергии-импульса материи. Поскольку физика холодной темной компоненты (CDM) и темной энергии (DE) остается неизвестной, то предлагается использовать феноменологический подход, позволяющий получать ограничения на предполагаемые виды взаимодействий из сравнения предсказываемых и наблюдаемых космологических зависимостей.

В *разделе 1.3* На основе анализа структуры современных космологических моделей, предложено деление наблюдательных космологических тестов на критические (проверка оснований) и параметрические (проверка следствий). Имеющиеся параметрические космологические тесты хотя и являются основным рабочим инструментом наблюдательной космологии, но значительноотягощены эффектами селекции и эволюции, что существенно снижает надежность оценок космологических параметров. Для укрепления оснований космологических моделей необходимым является разработка критических космологических тестов таких, как тесты природы гравитации, тесты космологического принципа и тесты природы "темного сектора".

**Глава 2** посвящена разработке астрофизических тестов природы гравитации. Поскольку теория гравитации является главным элементом космологических моделей, определяющим также физику "темного сектора", то необходима разработка таких астрофизических тестов, которые обеспечат разностороннюю проверку физических свойств гравитационного взаимодействия.

В *разделе 2.1* рассмотрена проблема физики гравитационного взаимодействия на примере геометрического и полевого подходов к описанию гравитации. Современные

теории гравитации можно разделить на три класса в соответствии с той ролью, которую в них играет пространство Минковского как глобальная фоновая геометрия. К первой группе относятся теории, в которых фоновое пространство Минковского не играет роли — это полностью геометризованные теории (такие как ОТО Эйнштейна, теория Бранса-Диккеса); во второй группе оно играет вспомогательную роль — это частично геометризованные теории; к третьей группе относятся теории, в которых пространство Минковского играет ключевую роль — это негеометризованные теории (например, полевая теория гравитации Фейнмана). Особая роль пространства Минковского в полевом подходе позволяет описывать гравитационное взаимодействие как обмен квантами поля, аналогично другим фундаментальным физическим взаимодействиям (Фейнман и др. 1995, Тирринг 1961, Зельдович и Новиков 1971; обзор истории полевого подхода см. Варышев 1999, Страуман 2000, Питс и Шиеве 2001).

В *разделе 2.2* приводятся основные принципы, уравнения и предсказания геометрической теории гравитации, на основе которых построены ее астрофизические тесты. К классическим релятивистским эффектам гравитации относятся: отклонение света, гравитационное смещение частоты, запаздывание радиосигналов, смещение перигея эллиптической орбиты, прецессия плоскости орбиты и оси гироскопа в поле вращающегося массивного тела, гравитационное квадрупольное излучение. Кроме того в сильных полях ОТО предсказывает существование черных дыр для компактных объектов с массой большей предела Оппенгеймера-Волкова (около  $3M_{\odot}$ ).

В *разделе 2.3* решена задача последовательного построения полевой теории гравитации (ПТГ) на пост-ньютоновском уровне. Приводятся исходные принципы, выбираются лагранжианы гравитационного поля и взаимодействия, выводятся уравнения гравитационного поля и уравнения движения частиц и релятивистского газа. Даются решения основных уравнений методом последовательных приближений и таким образом полевой подход развит до уровня, необходимого для расчета астрофизических предсказаний. Показано, что все классические релятивистские эффекты гравитации

описываются в ПТГ теми же конечными формулами, что и в ОТО, и следовательно необходимо разработать новые тесты, способные различить полевой и геометрический подходы.

Главное отличие ПТГ от ОТО состоит в том, что ПТГ фактически является скалярно-тензорной теорией, в которой скалярное поле содержится в исходном симметричном тензорном потенциале в виде его следа ( в отличие от теорий типа Бранса-Дикке, где скалярное поле вводится дополнительно и имеет новую константу связи).

Гравитационное поле в ПТГ обладает ТЭИ аналогично другим полям, при этом энергия гравитационного поля положительна, локализуема и переносится квантами поля - гравитонами. ТЭИ гравитационного поля симметричен, имеет  $T^{00} > 0$  и  $T = 0$ . Положительная плотность энергии статического гравитационного поля дает вклад 16% в наблюдаемую величину смещения перигелия орбиты пробного тела. Следовательно согласно ПТГ энергия гравитационного поля уже измерена в эффекте смещения перигелия Меркурия и в смещении перигелия в двойных пульсарах. Из положительности энергии гравитационного поля в ПТГ следует существование предельного радиуса любого тела массы  $M$ , равного  $R_m = GM/c^2$ , аналогичного классическому радиусу электрона в электродинамике.

В *разделе 2.4* предложены новые астрофизические тесты, дающие разные предсказания в случаях полевой и геометрической теорий и, следовательно, позволяющие проверять физическую природу гравитационного взаимодействия.

Новый эффект, отличающий ПТГ от ОТО уже в слабом поле, связан с поступательным движением вращающихся тел. Для его проверки предложен тест обобщенный эффект Нордтведта, который может быть измерен в экспериментах с лазерной локацией Луны на уровне относительной точности  $10^{-13}$ , находящейся на пределе современных возможностей (Андерсон и Уильямс 2001, Финкельштейн 2002).

Другой эффект, отличающий ПТГ от ОТО, связан с возможностью излучения

скалярных гравитационных волн, источником которых является след ТЭИ материи. Получены выражения для потерь энергии на скалярное гравитационное излучение и проведено сравнение предсказаний с наблюдениями для системы с двойным пульсаром PSR 1913+16 и с наблюдениями SN1987A и SN1993J. В качестве теста природы гравитации предложена методика наблюдения относительной частоты появления гравитационных сигналов в функции звездного времени. Этот метод использовался в работе Астоне и др. (2002), где получены первые свидетельства гравитационных сигналов от неизвестных источников в плоскости Галактики.

Как отмечается в недавних работах Абрамовича и др. (2002) и Робертсона & Лейтера (2002) главной проблемой физики кандидатов в черные дыры является проблема доказательства наличия или отсутствия у них горизонта событий. Поскольку в ПТГ из наличия локализуемой положительной энергии гравитационного поля следует отсутствие сингулярности и горизонта, то компактные релятивистские объекты обладают поверхностью и магнитным полем. Таким образом важным тестом природы гравитационного взаимодействия является наблюдение излучения из окрестности компактных массивных объектов.

Входить в более детальное исследование полевого подхода потребуется только в случае, если предложенные астрофизические тесты дадут свидетельства в пользу ПТГ. Если предложенные тесты будут согласовываться с предсказаниями ОТО, тогда геометрическая теория гравитации и, основанная на ней космология, значительно укрепятся. Черные дыры, экзотическая небарионная скрытая масса и квинтэссенция тогда получат новое обоснование.

**Глава 3** посвящена наблюдательным тестам космологического принципа и анализу пространственного распределения видимой и скрытой массы на масштабах до 1000 Мпк.

В *разделе 3.1* проведено сравнение основных методов анализа пространственного распределения галактик. Метод условных концентраций для анализа является адекватным инструментом анализа стохастических фрактальных структур и может

быть использован для поиска масштаба перехода от фрактального к однородному пространственному распределению галактик.

Анализ имеющихся обзоров красных смещений показал, что галактики образуют структуры разных масштабов - скопления, пустоты, стенки, филаменты, причем спектр неоднородностей имеет степенной вид и согласуется с фрактальным распределением имеющим размерность  $\mathcal{D} \approx 2$  и достигающим масштабов сотен Мпк.

Для галактик каталога KLUK с расстояниями, определенными методом Талли-Фишера, проведена оценка фрактальной размерности их пространственного распределения методом, независимым от их красных смещений. Показано, что  $D_f = 2.2 \pm 0.2$  вплоть до предела глубины выборки равного  $200 h_{60}^{-1}$  Мпк.

В *разделе 3.2* предлагаются новые методы анализа пространственного распределения кластеризованной скрытой массы. Введена новая характеристика стохастических фрактальных процессов — двухточечная условная лучевая концентрация. Предложен метод анализа кластеризации скрытой массы на основе изучения распределения гравитационных линз вдоль луча зрения внутри фрактальных структур.

Другой метод, позволяющий получать ограничения па скрытую массу, основан на том, что согласно Бонди (1947) космологическое соотношение красное смещение — расстояние содержит часть, связанную с космологическим гравитационным смещением частоты, обусловленную массой шара с радиусом равным расстоянию между источником и наблюдателем. Из формулы Маттига для соотношения  $\tau\{z\}$  получено выражение для гравитационной части космологического красного смещения и на его основе получен абсолютный верхний предел на массу скрытой материи в любых формах, распределенную фрактально с размерностью  $V = 2$ .

В **Главе 4** проведен анализ удивительных свойств локального закона Хаббла в местном объеме с радиусом  $R < 10$  Мпк. Показано, что местный объем представляет уникальную лабораторию космологической физики, где все существенные компоненты



массы могут быть исследованы. Сосуществование "холодного" линейного закона Хаббла с неоднородным распределением галактик позволяет получить ограничения на возможные параметры темной массы и темной энергии.

В *разделе 4.1* получены наблюдаемые свойства локального закона Хаббла, построенного по галактикам с наиболее точно известными расстояниями (по цефеидам). Показано, что линейное соотношение  $z = HR/c$  начинает выполняться с расстояния  $R \approx 1$  Мпк, а дисперсия пекулярных скоростей  $\sigma_v \leq 40$  км/с в радиусе  $r < 8$  Мпк. При этом распределение галактик внутри местного объема существенно неоднородно и хорошо описывается степенным законом с фрактальной размерностью  $\mathcal{D} \approx 2$ . Это приводит к парадоксальному выводу о том, что линейный закон Хаббла выполняется глубоко внутри фрактального распределения галактик, что находится в видимом противоречии с выводом линейного закона расширения пространства из однородного распределения вещества.

Численное моделирование задачи N-тел с высоким разрешением в рамках CDM моделей, проведенное в работе Говернато и др. (1997), показало, что при формировании систем галактик аналогичных Местной группе характерная величина дисперсии скоростей галактик в окрестности 5 Мпк оказывается в интервале значений 300 — 700 км/с для  $\Omega_m = 1$  и 150 — 300 км/с для  $\Omega_m = 0.3$ , т.е. в лучшем случае в 5 — 10 раз большую величину, чем наблюдается. Говернато и др. (1997) сделали вывод, что байесом невозможно устранить это расхождение и что малое значение наблюдаемой дисперсии скоростей является загадочным явлением.

В *разделе 4.2* для объяснения наблюдаемых свойств локального закона Хаббла применяется асимптотически однородная модель Леметра-Толмена-Бонди и двухкомпонентная модель Фридмана.

Применение модели Леметра-Толмена-Бонди к местному объему приводит к заключению, что фрактально распределенная скрытая масса должна переходить в однородное распределение на масштабе около 10 Мпк, чтобы обеспечить наблюдаемую

величину  $R_{cr} \leq 1$  Мпк и параметр плотности  $\Omega_m \approx 0.2$ .

Критическое расстояние  $r_\chi$ , на котором гравитация обычного вещества сравнивается с антигравитацией темной энергии, для Местной группы оказывается порядка 2 Мпк, что совпадает с расстоянием на котором начинает выполняться линейный закон Хаббла. Малая дисперсия пекулярных скоростей галактик местного объема объяснена адиабатическим охлаждением возмущений на стадии доминирования вакуумоподобной материи.

В **Заключении** формулируются основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

### 3 Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Соколов В.В., Барышев Ю.В. Теоретико-полевой подход к гравитации: тензор энергии-импульса поля. Гравитация и теория относительности, вып. 17, 34-42, 1980.
2. Барышев Ю.В. Иерархическая структура Метагалактики. Известия САО, том 14, 24-43, 1981.
3. Барышев Ю.В. О гравитационном излучении двойной системы с пульсаром PSR1913+16. Астрофизика, том 18, 93-99, 1982.
4. Барышев Ю.В., Соколов В.В. Релятивистская тензорная теория гравитационного поля в плоском пространстве-времени. Труды АОЛГУ, том 38, 36-61, 1983.
5. Барышев Ю.В., Соколов В.В. Некоторые астрофизические следствия динамической трактовки гравитации. Астрофизика, том 21, 361-366, 1984.
6. Барышев Ю.В. Уравнения движения пробных частиц в лоренц-ковариантной тензорной теории гравитации. Вестник ЛГУ, серия 1, вып. 4, 113-118, 1986.
7. Барышев Ю.В. Законы сохранения и уравнения движения в полевой теории гравитации. Вестник ЛГУ, серия 1, выи. 2, 80-85, 1988.
8. Барышев Ю.В., Ковалевский М.А. Потенциал однородного шара в полевой теории гравитации. Вестник ЛГУ, серия 1, вып. 1, 86-91, 1990.

9. Baryshev Yu.V. Post-Newtonian hydrostatic equilibrium in the field theory of gravitation. Сообщения CAO, вып. 64, 12-15, 1990.
10. Baryshev Yu.V. An upper limit, on hidden mass of fractals of galaxies. Сообщения CAO, вып. 64, 86-88, 1990.
11. Baryshev Yu.V. Stability of supermassive stars in the field gravitation theory, in "Problems of high energy physics and field theory.XIII.", Moscow, Nauka, 1991, pp.61-66.
12. Baryshev Yu.V. Pulsation of supermassive star in the tensor field gravitation theory, in "Variability of Blazars", Cambridge Univ.Press, 1992, pp.52-54.
13. Барышев Ю.В. Современное состояние наблюдательной космологии. Итоги Науки и Техники, серия Классическая теория поля и теория гравитации, том 4: Гравитация и космология, 89-135, 1992.
14. Baryshev Yu.V., Raikov A.A., Tron A.A. Gravitational lensing inside fractal structure, in "Gravitational lenses in the Universe", Liege, 1993, pp.365-368.
15. Baryshev Yu.V. On the fractal nature of the large scale structure of the universe. Astron.Astrophys.Transactions, vol.5, 15-23, 1994.
16. Baryshev Yu.V., Sylos Labini F., Montuori M., Pietronero L. Facts and ideas in modern cosmology. Vistas in Astronomy, vol.38, 419-500, 1994.
17. Baryshev Yu.V. On a possibility of scalar gravitational wave detection from the binary pulsar PSR 1913+16. in "Gravitational wave experiment", World Sci.Publ.Co., 1995, pp.251-260.
18. Барышев Ю.В. Сигналы от SN1987A в антеннах Амальди-Вебера как возможное обнаружение скалярных гравитационных волн. Астрофизика, том 40, 377-389, 1997.
19. Барышев Ю.В., Езова Ю.Л. Гравитационное мезолинзирование объектами кинговского типа и ассоциации квазар-галактика. Астрон. Журн., том 74, 497-508, 1997.
20. Teerikorpi P., Hanski M., Theureau G., Baryshev Yu., Paturel G., Bottinelli L., Gougenheim L. The radial space distribution of KLUN galaxies up to 200 Mpc: incompleteness or

evidence for the behaviour predicted by fractal dimension 2? *Astron.Astrophys.*, vol. 334, 395-403, 1998.

21. Baryshev Yu.V., Sylos Labini F., Montuori M., Pietronero L. Teerikorpi P. On the fractal structure of galaxy distribution and its implications for cosmology. *Fractals*, vol. 6, 231-243, 1998.

22. Baryshev Yu.V. Conceptual problems of fractal cosmology. *Astron.Astrophys.Transactions*, vol. 19, 417-435, 2000.

23. Gromov A., Baryshev Yu., Suson D., Teerikorpi P. Lemaitre-Tolraan-Bondi model: fractality, non-simultaneous bang time and the Hubble law. *Gravitation & Cosmology*, vol.7, 140-148, 2001.

24. Ekholm T., Baryshev Yu., Teerikorpi P., Hanski M., Paturel G. On the quiescence of the Hubble flow in the vicinity of the Local Group: a study using galaxies with distances from the Cepheid PL-relation. *Astron. Astrophys.*, vol.368, L17-L20, 2001.

25. Baryshev Yu., Paturel G. Statistics of the detection rates for tensor and scalar gravitational waves from the local galaxy universe. *Astron. Astrophys.*, vol.371, 378-392, 2001.

26. Baryshev Yu., Chernin A., Teerikorpi P. The cold local Hubble flow as a signature of dark energy. *Astron. Astrophys.*, vol.378, 729-734, 2001.

27. Барышев Ю.В., Обобщенный эффект Нордтведта и тесты принципа эквивалентности для вращающихся тел, Труды ИПА РАН, вып. 8, Небесная механика, 20-21, 2002.

28. Baryshev Yu., Translational motion of rotating bodies and tests of the equivalence principle. *Gravitation & Cosmology*, vol.8, 232-240, 2002.

Во всех публикациях, выполненных в соавторстве, автору диссертации принадлежит постановка задачи и участие в разработке и обсуждении методов ее решения.

# Литература

*Абрамович и др.* (Abramowicz M. et al.), No observational proof of the black hole event horizon, astro-ph/0207270, 2002.

*Андерсон и Уильяма* (Anderson J., Williams J.), Long-range tests of the equivalence principle. Classical & Quantum Gravity, v.18, 2001.

*Астоне и др.* (Astone P. et al.), Study of the coincidences between the gravitational wave detectors EXPLORER and NAUTILUS in the year 2001. Classical & Quantum Gravity, v.19, 5449-5463, 2002.

*Барышев* (Baryshev Yu.), Field theory of gravitation: desire and reality, gr-qc/9912003, 1999.

*Барышине и Теерикорпи* (Baryshev Yu., Teerikorpi P.), *Discovery of Cosmic Fractals*, World Scientific Publ. Co., 2002.

*Бонди* (Bondi, H.), Spherically symmetrical models in general relativity. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 107, 410-425, 1947.

*Ву, Лахав и Рис* (Wu K., Lahav O., Rees M.), The large-scale smoothness of the Universe. Nature, 397, 225-235, 1999.

*Говернато и др.* (Govemato F. et al.). The Local Group as a test, of cosmological models. New Astron., v.2, 91-106, 1997.

*де Бернардис и др.* (de Bernardis P. et al.), A flat Universe from high-resolution maps of the cosmic microwave background radiation. Nature, 404, 955-959, 2000.

*Зельдович Я.Б. и Новиков И.Д.* , *Теория тяготения и эволюция звезд*, М., Наука, 1971.

*Лукаш* (Lukash V.N.), Cosmological models: theory and observations, astro-ph/0012012, 2000.

*Перлмуттер и др.* (Perlmutter, S. et al.), Measurements of  $\Omega$  and  $\Lambda$  from 42 high redshift supernovas. Astrophys. J., 517, 565-586, 1999.

*Пиблс* (Peebles, P.J.E.), From precision cosmology to accurate cosmology. astro-ph/0208037, 2002.

*Пиблс, и Рампа* (Peebles, P.J.E., Ratra B.), The Cosmological Constant, and Dark Energy. astro-ph/0207347, 2002.

*Питтс и Шиеве* (Pitts J., Schieve W.). Null cones in Lorentz-covariant general relativity. gr-qc/0111004, 2001.

*Райес и др.* (Riess, A.G. et al.), Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. Astron. J., 116, 1009-1038, 1998.

*Робертсон и Лейтнер* (Robertson S.L., Leiter D.J.). Evidence for intrinsic magnetic moments in black hole candidates. Astrophys. J., 565, 447, 2002.

*Соколов В.В.*, Отождествление гамма-всплесков: оптические транзиенты и родительские галактики, докторская диссертация, ОАО РАН, Нижний Архыз, 2002.

*Страуман* (Stranmann N.), Reflections on gravity. astro-ph/0006423, 2000.

*Сэндидэн:* (Sandage A.), Astronomical problems for the next, three decades. In *Key Problems in Astronomy and Astrophysics*, Mamaso A. and Munch G. eds., Cambridge University Press, 1995.

*Тернер* (Turner M.), Dark Matter and Dark Energy: The Critical Questions, astro-ph/0207297, 2002.

*Тирринг* (Thirring, W. E.), An alternative approach to the theory of gravitation, Ann. of Phys., v. 16, 96-117, 1961.

*Фейнман и др.* (Feynman R., Morinigo F., Wagner W.), *Feynman Lectures on Gravitation*, Addison-Wesley Publ. Сотр., 1995.

*Финкельштейн А.М.*, ред., Труды ИПА РАН, вып. 8, *Небесная механика - 2002: Результаты и перспективы*, 2002.

*Чернин А.Д.*, Космический вакуум. УФН, 171, № 11, 1153-1175, 2001.